

ПРОЦЕС РОЗВИТКУ ТА ПОШИРЕННЯ ПОЖЕЖІ В ПРИМІЩЕННЯХ БУДІВЕЛЬ ДЕРЕВООБРОБНИХ ПІДПРИЄМСТВ

Розглянуто процес розвитку та поширення пожежі в закритих приміщеннях будівель деревообробних підприємств. На підставі результатів аналізу отримано напрямки для прогнозування заходів до зменшення ризику виникнення пожежі, а у випадку її виникнення – до зменшення площі її розповсюдження, що є дуже важливим для зменшення збитків від пожежі. Встановлено, що використання протипожежних перегородок між дільницями механічної обробки деревини зменшує імовірність розповсюдження пожежі по приміщенню цеху приблизно в 1,5 раза.

Ключові слова: пожежа, процес поширення пожежі, імовірність поширення пожежі, оптична густина диму.

Сучасний стан проблеми. Розроблення будь-яких моделей розвитку та поширення пожежі в приміщеннях будівель деревообробних підприємств неможливе без досконалого вивчення конструктивних особливостей цих об'єктів, а саме існуючих на даний час просторових конструкцій приміщень будівель. Деревообробна галузь об'єднує значну групу виробництв, які пов'язані з механічною обробкою деревини. Цю галузь можна поділити на чотири основних групи виробництв: 1) лісопильно-деревообробні; 2) клеєних матеріалів і плит; 3) виробів з деревини; 4) спеціальні [1]. Для кожної з цих груп виробництв використовують відповідні споруди з певними типами конструкцій виробничих приміщень і складів. Схема класифікації споруд деревообробних підприємств зображена на рис. 1.



Рис. 1. Схема класифікації споруд деревообробних підприємств

Аналізуючи схему класифікації споруд деревообробних підприємств (рис. 1) можна зауважити, що найбільш пожежонебезпечними спорудами є закриті цехи, в яких обробляється деревина. Ці цехи мають значну площу (розміром $B \times L$ до 72×144 м) до 10368 м^2 , оскільки в них розміщені деревообробні комплекси. Наприклад, тільки один комплекс моделі ОК250С для виготовлення віконних блоків і балконних дверей зі спареними і роздільними стулками займає площу 9100 м^2 [1]. Безумовно обладнання, яке входить до складу цього комплексу,

можна використовувати самостійно для виконання окремих технологічних операцій на всіх деревообробних підприємствах. Крім цього, в цеху мають бути дільниці розкрою пиломатеріалів, виготовлення погонажу, зрощування заготовок за довжиною, ремонту брусків, профільного оброблення, шліфування тощо. На всіх дільницях механічної обробки деревини в більшості випадків виділяється пил, який видаляють з цеху притоково-витяжною вентиляцією. Але повністю очистити повітря цеху від пилу неможливо, що і є причиною можливого виникнення пожежі внаслідок дії на пил на робочих місцях високих температур. Наприклад, в процесі розрізки деревини фрезою зубці фрези зі сталі Р6М5 нагріваються до температури 600...650 °С, що може стати причиною займання пилу і відповідно виникненню пожежі.

Тому ставиться задача розглянути процес розвитку та поширення пожежі в закритих приміщеннях будівель деревообробних підприємств з метою розроблення заходів для її запобігання, а у випадку виникнення – для її швидкої ліквідації.

Мета роботи. Проаналізувати процес розвитку та поширення пожежі в закритих приміщеннях будівель деревообробних підприємств з використанням математичних моделей.

Постановка задачі та її розв'язання. В деревообробних цехах знаходяться матеріали, горіння яких супроводжується термічним розкладом (піролізом) з виділенням газоподібних продуктів та утворенням перевугленого поверхневого шару, що потовщується протягом часу горіння. Швидкість вигорання твердих матеріалів залежить не тільки від фізичної природи матеріалу, а і від геометричної структури пожежного навантаження. Наприклад, деревина може бути у вигляді брусків різного поперечного перерізу, дощок, відходів деревообробки тощо, а швидкість їх вигорання залежить від розмірів площі підлоги, на якій вони розміщені, товщини та ступеня дисперсності шару. Крім цього, швидкість вигорання в закритому приміщенні відрізняється від швидкості вигорання на відкритому просторі.

Можливі **два режими горіння** матеріалів в приміщенні: 1) з наявністю достатньої кількості кисню (повітря), тобто пожежа, яка виникла, регулюється пожежним навантаженням; 2) з недостатньою кількістю кисню (повітря), тобто пожежа, яка виникла, регулюється вентиляцією.

В закритому приміщенні в реальних умовах **перший режим** пожежі поступово переходить в **другий**, а після досягнення температури в приміщенні, при якій руйнуються шибки вікон, процес газообміну стає двостороннім і пожежа переходить до **першого режиму**.

Для **першого режиму** пожежі масова швидкість вигорання ψ може бути визначена за залежністю [2]

$$\psi = \psi_n S_{II}, \text{ кг/с} \quad (1)$$

де ψ_n – питома швидкість вигорання, $\text{кг}\cdot\text{с}^{-1}\cdot\text{м}^{-2}$; S_{II} – площа пожежі, м^2 .

З іншого боку, площу пожежі за перші 10 хв пожежі можна визначити за залежністю

$$S_{II} = 0,125\alpha v_n^2 \tau^2, \text{ м}^2 \quad (2)$$

де α – кут форми пожежі: кругова $\alpha = 6,28$ радіан; кутова (180°) $\alpha = 3,14$ радіан; кутова (90°) $\alpha = 1,57$ радіан; v_n – лінійна швидкість розповсюдження полум'я пожежі, м/с; τ – час пожежі, с.

У випадку коли розглядають площу пожежі після 10 хв її дії використовують залежність

$$S_{II} = 0,5\alpha v_n^2 (\tau - 300)^2, \text{ м}^2. \quad (3)$$

Для визначення часу кінця **першого режиму** пожежі можна використати залежність для встановлення критичного часу підтримки вогнища пожежі завдяки наявності необхідної концентрації кисню в приміщенні, наприклад, для кругової пожежі класу А [2]

$$\tau_{\text{к.о}_2} = \left\{ \frac{3c_p \rho_0 T_0 V}{\pi \eta (1-\phi) Q_{\min} \psi_n v_n^2} \ln \left[\frac{c_p \rho_0 T_0 L_1}{(1-\phi) Q_{\min}} + \rho_{01} \right] \right\}^{\frac{1}{n}}, \text{ с} \quad (4)$$

де c_p – теплоємність газового середовища в приміщенні, $\text{Дж}\cdot\text{кг}^{-1}\cdot\text{К}^{-1}$; $\rho_0 \cdot T_0 \approx 3 \cdot 10^2 \text{ кг}\cdot\text{м}^{-3}\cdot\text{К}$; $\eta \approx 1$ – коефіцієнт повноти згорання; $\phi \approx 0,5$ – коефіцієнт тепловтрат; Q_{\min} – найнижча теплота згорання речовини, яка знаходиться в осередку пожежі, Дж/кг ; ψ_n – питома швидкість вигорання, $\text{кг}\cdot\text{м}^{-2}\cdot\text{с}^{-1}$; V – вільний об'єм приміщення, м^3 ; v_n – лінійна швидкість розповсюдження полум'я, м/с; L_1 – стехіометричний коефіцієнт, що визначає кількість кисню в кг, яка необ-

хідна для згорання 1 кг матеріалу, що горить при пожежі; $\rho_{01} = 0,27 \text{ кг/м}^3$ – початкова густина кисню в приміщенні; $\rho_{1к} = 0,19 \text{ кг/м}^3$ – критична густина кисню, при якій може припинитися горіння; $n = 3$ – для кругової пожежі.

Крім цього, в процесі розвитку пожежі газове середовище приміщення містить найдрібніші тверді частинки діаметром 0,2...1 мкм, які впливають на оптичні властивості середовища. Це призводить до розсіювання енергії світлових хвиль внаслідок багатократного дифузного відбиття від цих частинок і погіршення видимості. Оптичні властивості середовища приміщення характеризуються середньооб'ємною оптичною густиною диму μ , значення якої можна визначити за залежністю [3]

$$\mu = \frac{c_p \rho_0 T_0 D}{Q_{\min} \eta (1 - \phi)} \left[1 - \exp \left(- \frac{\psi_n S_{\Pi} \eta Q_{\min} (1 - \phi) \tau}{c_p \rho_0 T_0 V} \right) \right], \text{ Нп} \cdot \text{м}^{-1}. \quad (5)$$

Значення Q_{\min} , ψ_n та v_n , наведені в ГОСТ 12.1.004 – 91 (додаток 4) [4], а значення питомого димовиділення D та L_1 – в монографії [5, додаток 2].

Для визначення та аналізу температурного режиму в об'ємі приміщення цеху в процесі пожежі скористаємося емпіричною залежністю, яка була отримана за результатами факторного експерименту та перевірена на адекватність за критерієм Фішера [6]

$$T_i = T_{o.n.} \cdot \frac{C_T \cdot G^{0,75} \cdot \tau_{в.г.}^{0,18} \cdot Z^{1,5} \cdot S_{\Pi}^{0,13}}{R^{0,71}}, \text{ } ^\circ\text{C} \quad (6)$$

де $T_{o.n.}$ – температура осередку пожежі; G – пожежне навантаження в приміщенні, кг/м^2 ; $\tau_{в.г.}$ – час вільного горіння, хв; Z – висота, на якій визначається температура, м; S_{Π} – площа пожежі, м^2 ; R – відстань, на якій визначається температура, м; C_T – коефіцієнт пропорційності та обезрозмірювання складових елементів дробу

$$C_T = 0,014 \frac{M^{0,45}}{xв^{0,18} \cdot \kappa z^{0,75}}$$

Для визначення температури $T_{o.n.}$ в осередку пожежі використовуємо залежність [7]

$$T_{o.n.} = \frac{10^3 Q_{\min} \psi_n \tau_{н.г.}}{c_p G} - 273, \text{ } ^\circ\text{C} \quad (7)$$

де Q_{\min} – значення найнижчої робочої теплоти згорання горючого навантаження для приміщення, в якому розглядається пожежа, МДж/кг ; c_p – теплоємність для приміщення, в якому розглядається пожежа, $\text{кДж/кг} \cdot \text{К}$; $\tau_{н.г.}$ – тривалість до повного горіння, при якому осередок пожежі досягає максимальної температури, с ($\tau_{н.г.} = 600 \dots 720$ с [5]).

Наведені залежності (1)...(7) дають змогу проаналізувати процес розвитку та поширення пожежі в приміщеннях будівель деревообробних підприємств. Для цього розглянемо приклад виникнення пожежі в закритому цеху деревообробного підприємства.

Приклад. В закритому деревообробному цеху розміром $B \times L \times H = 72 \times 144 \times 6$ м, в його центральній частині, виникла пожежа. В цеху обробляють деревину (пожежне навантаження $G = 80 \text{ кг/м}^2$) $Q_{\min} = 13800 \text{ кДж/кг}$; $v_n = 0,022 \text{ м/с}$; $\psi_n = 0,0145 \text{ кг/м}^2 \cdot \text{с}$; $D = 57 \text{ Нп} \cdot \text{м}^2/\text{кг}$; $L_1 = 1,15 \text{ кг/кг}$; $c_p = 1,7 \text{ кДж/кг} \cdot \text{К}$ [2; 4; 5].

Розв'язок.

1. Визначаємо об'єм приміщення цеху

$$V = B \cdot L \cdot H = 72 \cdot 144 \cdot 6 = 62208 \text{ м}^3$$

2. Визначаємо критичний час підтримки вогнища пожежі завдяки наявності необхідної концентрації кисню в приміщенні за залежністю (4)

$$\tau_{к.О_2} = \left\{ \frac{3 \cdot 1,7 \cdot 10^3 \cdot 3 \cdot 10^2 \cdot 62208}{3,14 \cdot 1 \cdot (1 - 0,5) \cdot 13800 \cdot 10^3 \cdot 0,0145 \cdot 0,022^2} \ln \left[\frac{1,7 \cdot 10^3 \cdot 10^3 \cdot (-1,15)}{(1 - 0,5) \cdot 13800 \cdot 10^3} + 0,27 \right]}{\left[\frac{1,7 \cdot 10^3 \cdot 10^3 \cdot (-1,15)}{(1 - 0,5) \cdot 13800 \cdot 10^3} + 0,19 \right]} \right\}^{\frac{1}{3}} = 1069 \text{ с.}$$

Отримане значення критичного часу підтримки вогнища пожежі вказує на те, що через $\tau_{к.О2} = 1069$ с або через 18 хв закінчується **перший режим** пожежі. Але для підтвердження цього висновку необхідно з урахуванням цього часу визначити температуру, яка буде діяти на шибки вікон цеху, що розміщені по його периметру.

3. Визначаємо температуру осередку пожежі за залежністю (7)

$$T_{осн} = \frac{10^3 \cdot 13,8 \cdot 0,0145 \cdot 720}{1,7 \cdot 80} - 273 = 785^\circ C.$$

4. За залежністю (3) визначаємо площу пожежі

$$S_{II} = 0,5 \cdot 6,28 \cdot 0,022^2 (1069 - 300)^2 = 899 \text{ м}^2.$$

5. Визначаємо температуру біля шибок вікон, тобто на відстані $B/2 = 36$ м від центра осередку пожежі на висоті $Z = 3$ м

$$T_{3,36} = 785 \frac{0,014 \cdot 80^{0,75} \cdot 18^{0,18} \cdot 3^{1,5} \cdot 899^{0,13}}{36^{0,71}} = 494^\circ C.$$

Визначене значення температури вказує на те, що шибки вікон на 18 хв пожежі вже будуть зруйновані і повернуться **перший режим** пожежі. Тому необхідно визначити час пожежі, при якому шибки вікон прогріються до температури 300...350 °С, що призведе їх руйнування. Таким часом, як показали результати аналогічних розрахунків, є час 10 хв (600 с), за тривалість якого утворюється площа пожежі 136 м² і на шибки вікон діє температура $T_{3,36} = 324^\circ C$, що виконує їх руйнування, тобто вже приблизно за половину часу дії першого періоду пожежі здійснюється поступлення достатньої кількості кисню. Тобто можна стверджувати, що в деревообробних цехах з об'ємом приміщення більше 60000 м³ в процесі пожежі діє тільки **перший режим** пожежі з наявністю достатньої кількості кисню (повітря) і пожежа, яка виникла, регулюється тільки пожежним навантаженням.

6. Визначаємо оптичну густину диму на 10 хв (600 с) розвитку пожежі за залежністю (5) при $S_{II} = 136 \text{ м}^2$

$$\mu = \frac{1,7 \cdot 10^3 \cdot 3 \cdot 10^2 \cdot 57}{13800 \cdot 10^3 \cdot 1 \cdot (1 - 0,5)} \left[1 - \exp \left(- \frac{0,0145 \cdot 136 \cdot 1 \cdot 13800 \cdot 10^3 \cdot (1 - 0,5)}{1,7 \cdot 10^3 \cdot 3 \cdot 10^2 \cdot 62208} 600 \right) \right] = 0,95 \text{ Нп/м}.$$

Аналізуючи отриманий результат μ можна зробити висновок про те, що за 10 хв пожежі в деревообробному цеху видимість буде приблизно до 2,5 м (рис. 2), що є допустимим значенням. Крім цього, навіть за 18 хв пожежі $\mu = 1,56$ Нп/м, що також є допустимим значенням, тому що видимість буде приблизно 1,5 м.

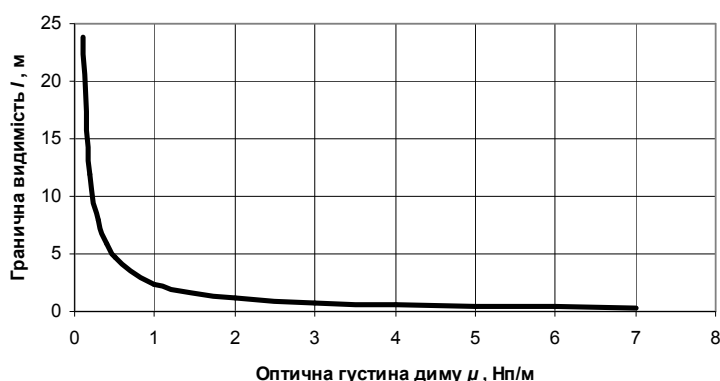


Рис. 2. Залежність граничної видимості від оптичної густини диму згідно з ГОСТ 12.1.004 – 91

Результати аналізу процесу розвитку та поширення пожежі в приміщенні будівлі деревообробного цеху із загальною площею 10368 м² показали, що швидкість розповсюдження пожежі дуже велика і для її зменшення необхідно дільниці механічної обробки деревини розділяти протипожежними перегородками (рис. 3).

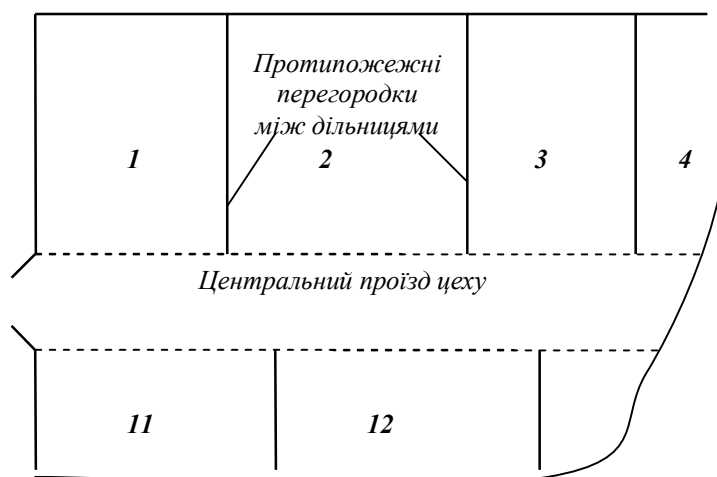


Рис. 3. План деревообробного цеху з протипожежними перегородками

Використання протипожежних перегородок значно зменшує імовірність розповсюдження пожежі по приміщеннях цеху. Розглянемо це питання з використанням графа переходу пожежі, наприклад, з дільниці 1 на дільницю 2 (рис. 4).

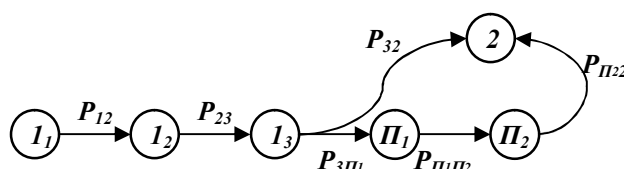


Рис. 4. Граф переходу пожежі з дільниці 1 до дільниці 2

Для розгляду графа (рис. 4) введемо такі позначення: 1) вершини графа – події, які проходять в процесі розвитку пожежі; 2) ребра, які з'єднують вершини графа – імовірності виникнення відповідних подій. Розглянемо всі події та імовірності процесу переходу пожежі з дільниці 1 до дільниці 2. Подія I_1 – виникнення пожежі на дільниці 1, а I_2 – гасіння пожежі первинними засобами на дільниці 1; P_{12} – імовірність ліквідації пожежі первинними засобами (значення цієї імовірності можна приймати $P_{12} = 0,5$). Подія I_3 – закінчення початкової стадії пожежі, а P_{23} – імовірність закінчення початкової стадії пожежі (значення цієї імовірності можна приймати $P_{23} = 0,8$).

Після події I_3 можливе розгалуження подальшого розвитку пожежі, а саме перший шлях – це вихід пожежі на центральний проїзд цеху – подія Π_1 з імовірністю $P_{3\Pi_1}$ (значення цієї імовірності можна приймати $P_{3\Pi_1} = 0,9$), розповсюдження пожежі по центральному проїзду цеху – подія Π_2 з імовірністю $P_{\Pi_1\Pi_2}$ (значення цієї імовірності можна приймати $P_{\Pi_1\Pi_2} = 0,95$), а далі подія 2 – поява вогню (пожежі) на дільниці 2 з імовірністю $P_{\Pi_2 2}$ (значення цієї імовірності можна приймати $P_{\Pi_2 2} = 0,95$). Другий шлях, за яким може розвиватися пожежа одночасно з першим, це перехід пожежі з дільниці 1 до дільниці 2 через протипожежну перегородку між цими дільницями з імовірністю P_{32} (значення цієї імовірності можна приймати $P_{32} = 0,1 \dots 0,2$). Такий випадок можливий при низькій вогнестійкості перегородки.

На підставі наведеного графа можна визначити сумарну імовірність P_{Σ} розповсюдження пожежі між дільницями цеху з використанням протипожежних перегородок

$$P_{\Sigma} = P_{12} P_{23} [1 - (1 - P_{3\Pi_1} P_{\Pi_1\Pi_2} P_{\Pi_2 2})(1 - P_{32})]. \quad (8)$$

Визначимо сумарну імовірність P_{Σ} розповсюдження пожежі між дільницями цеху з використанням протипожежних перегородок за залежністю (8)

$$P_{\Sigma 1} = 0,5 \cdot 0,8 [1 - (1 - 0,9 \cdot 0,95 \cdot 0,95)(1 - 0,15)] = 0,336.$$

Без використання протипожежних перегородок $P_{\Sigma 2} = P_{12} = 0,5$. Тоді використання протипожежних перегородок зменшує імовірність розповсюдження пожежі по приміщенню цеху приблизно в $P_{\Sigma 2}/P_{\Sigma 1} = 0,5/0,336 \approx 1,5$ раз.

Висновки

1. Виконано аналіз процесу розвитку та поширення пожежі в приміщеннях будівель деревообробних підприємств, результати якого дають можливість прогнозувати заходи до зменшення ризику виникнення пожежі, а у випадку її виникнення – до зменшення площі її розповсюдження.

2. Для деревообробних цехів із загальною площею $S_{цеху} \geq 10000 \text{ м}^2$ в процесі пожежі діє тільки *перший режим* пожежі з наявністю достатньої кількості кисню (повітря) і пожежа, яка виникла, регулюється тільки пожежним навантаженням.

3. В деревообробних цехах з об'ємом приміщення $V \geq 60000 \text{ м}^3$ оптична густина диму в межах критичного часу пожежі не перевищує допустимого значення для евакуації людей.

4. Використання протипожежних перегородок між дільницями механічної обробки деревини зменшує імовірність розповсюдження пожежі по приміщенню цеху приблизно в 1,5 рази.

5. Необхідно продовжити наукову роботу в цьому напрямку для поширення отриманих адекватних результатів процесу розвитку та поширення пожежі в приміщеннях будівель деревообробних підприємств.

Список літератури:

1. **Ференц О.Б.** Технологія столярних виробів / О.Б. Ференц, В.М. Максимів, навчальний посібник. – Львів: НЛТУ України, 2011. – 400 с.
2. **Кошмаров Ю.А.** Прогнозирование опасных факторов пожара в помещении. / Ю.А. Кошмаров. – М.: Академия ГПС МВД России, 2000. – 118 с.
3. **Гуліда Е.М.** Прогнозування величини оптичної густини диму при пожежі в приміщенні / Гуліда Е.М. // Зб. наукових праць «Пожежна безпека» №18, 2011 / Львів: ЛДУ БЖД. – С. 65-70.
4. **ГОСТ 12.1.004 – 91.** Пожарная безопасность. – М.: Издательство стандартов, 1991. – 31 с.
5. **Пузач С.В.** Методы расчета тепломассообмена при пожаре в помещении и их применение при решении практических задач пожаровзрывобезопасности / С.В. Пузач. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2005. – 336 с.
6. **Гуліда Е.М.** Моделирование пожежі в закритому приміщенні / Е.М. Гуліда, О.В. Меньшикова, А.А. Ренкас // Науковий вісник НЛТУ України. – Львів: НЛТУ, 2012. – Вип. 22.6. – С. 307-317.
7. **Гуліда Е.М.** Метод статистичного моделювання пожежі в приміщенні / Е.М. Гуліда, О.В. Меньшикова // Проблемы пожарной безопасности. – Харьков: НУГЗУ, 2010. – Вып. 28. – С. 65-73.

А.М. Коваль

ПРОЦЕСС РАЗВИТИЯ И РАСПРОСТРАНЕНИЯ ПОЖАРА В ПОМЕЩЕНИЯХ ЗДАНИЙ ДЕРЕВООБРАБАТЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Рассмотрен процесс развития и распространения пожара в закрытых помещениях зданий деревообрабатывающих предприятий. На основании результатов анализа получены направления для прогнозирования мероприятий для уменьшения риска возникновения пожара, а в случае его возникновения – для уменьшения площади его распространения, что очень важно для уменьшения убытков от пожара. Установлено, что использование противопожарных перегородок между участками механической обработки древесины уменьшает вероятность распространения пожара по помещению цеха приблизительно в 1,5 раза.

Ключевые слова: пожар, процесс распространения пожара, вероятность распространения пожара, оптическая плотность дыма.

**A PROCESS OF FIRE DEVELOPMENT AND DISTRIBUTION INSIDE
THE BUILDINGS OF WOODWORKING ENTERPRISES**

The process of fire development and distribution is considered in the closed apartments of buildings of woodworking enterprises. On the basis of the analysis results, the directions were obtained for prognostication of measures to diminish risks of fire origin, and in case of its origin to diminish the area of its distribution, that is very important for diminishing fire losses. It is determined that the use of fire-prevention partitions among the wood tooling areas diminishes fire distribution probability on the workshop area approximately 1.5 times.

Key words: fire, fire distribution process, fire distribution probability, optical density of smoke.

